

過磷酸石灰와 尿素 및 農用 石灰의 配合에 의한 有效性 磷酸 및 尿素態 窒素 의 變化에 關한 研究

孟 道 源

(1966年 4月 2日 受理)

The effect of mixing of calcium superphosphate, urea and lime
on the change of the available phosphate and urea-nitrogen.

Do Won Maeng

College of Agriculture, Korea University

Summary

This study was carried out to determine how the water soluble, the available P_2O_5 and urea-N would change in the course of time, when the mixtures of calcium superphosphate and urea with lime for fertilizer which occurred in Korea and largely contained calcium carbonate were made.

Three kinds of materials, i. e., calcium superphosphate, urea and lime for fertilizer were used in this study.

Three kinds of mixed fertilizer, i. e., A, B and C were made up by mixing these materials to satisfy the following formula.

- 1) $Ca(H_2PO_4)_2 + CaCO_3 + CO(NH_2)_2 \longrightarrow$
 $Ca_3H_2(PO_4)_2 + H_2CO_3 + NH_3$
- 2) $Ca(H_2PO_4)_2 + CaCO_3 + CO(NH_2)_2 \longrightarrow$
 $Ca_3(PO_4)_2 + H_2CO_3 + NH_3$
- 3) $Ca(H_2PO_4)_2 + CaCO_3 + CO(NH_2)_2 \longrightarrow$
 $Ca_3(PO_4)_2 + H_2CO_3 + CaCO_3 + NH_3$

A, B and C were placed in desiccators respectively a six month period. During the time of storage, the water soluble, the available phosphoric acid and urea-N were measured once a month, seven times with the control measurement.

The results may be summarized as follows.

1. None of A, B and C showed any change in

the urea-N with the lapse of time. This fact indicated that the combination of calcium superphosphate and urea with lime for fertilizer was not unfavourable.

2. A, B and C decreased in the amount of water soluble P_2O_5 with the passage of time. This fact indicated that the mixing of calcium superphosphate and urea with lime for fertilizer was unfeasible.

3. The available P_2O_5 in any of A, B and C did not undergo a change as time went by. This fact suggested that the combination of calcium superphosphate and urea with lime for fertilizer was favourable.

1. 緒 言

作物을 栽培함에 있어서 絶對的 要件으로 되어 있는 肥料을 施用함에 있어서 單用하는 것보다 서로 配合하여 施用하는 便이 境遇에 따라서는 有利할 罷가 있는 것이다.

일찍기 Albrecht and Smith,⁽¹⁾ Albrecht and Klemme,⁽²⁾ Collings,⁽⁵⁾ Conner,⁽⁶⁾ Macintire and Shuey⁽⁸⁾ 및 Moores⁽¹⁴⁾ 등은 過磷酸石灰와 low calcitic limestone을 配合하여도 有效性 磷酸은 減少되지 않으므로 酸性土壤에 施用하는 것이 有利하다고 指摘하였으며, 또 著者⁽¹¹⁾도 過磷酸石灰와 國產인 農用 石灰와를 配合하여 위와 비슷한 結果를 얻었다.

過磷酸石灰와 尿素의 配合에 關해서는 著者⁽¹²⁾에 의해서도 指摘된 바와 같이 일찍기 여러 學者^(3,4,5),

9,10,13,16,17,18,19,21)에 의해서 이루어졌고, 論議되어 왔었다.

鹽谷正邦⁽²⁰⁾는 過磷酸石灰와 熔成磷肥와의 配合問題를 다루는 機會에 尿素하고도 즉 過磷酸石灰와 尿素 및 溶成磷肥와의 配合 可能性을 暗示한 것이다.

우리나라에서는 黃酸根을 含有하지 않은 肥料로서 尿素를 生産하고 있으며 年産 17萬屯에 達한다고 한다. 또 石灰資源이 될 수 있는 石灰石이 無盡藏으로 埋藏되어 있다. 이러한 尿素肥料과 炭酸石灰를 主成分으로 하는 農用石灰를 過磷酸石灰에 配合하여 貯藏하는 동안에 尿素態窒素와 有効性 磷酸이 時日經過에 따라 如何히 變化하는가 하는 問題는 重要한 課題라고 생각된다.

이 試驗은 이러한 樣相을 調查하기 위하여 着手된 것으로, 이에 對한 結果가 大體로 밝혀졌다고 믿어지기 때문에 敢히 本成績을 發表하는 바이다.

但 이 實驗은 化學的 變化에 局限된 것으로서 配合 後의 及濕性과 같은 物理的 變化에 對해서는 考慮하지 않았다.

2. 材料 및 實驗方法

이 實驗에 使用된 材料는 過磷酸石灰와 尿素 및 農用石灰의 3種類이다. 過磷酸石灰 및 尿素는 日本產으로서 農林部 資材課의 斡旋으로 얻었고, 農用石灰는 農業協同組合 中央會로부터 分讓받았다.

이들 材料의 水分含量, 石灰含量 그리고 尿素態窒素와 全窒素의 含量 및 水溶性 磷酸과 可溶性 磷酸 및 全磷酸의 含量은 各各 다음과 같았다.

種 類	過磷酸石灰 (%)	尿素 (%)	農用石灰 (%)
水 分	8.21	0.26	5.90
水溶性磷酸	17.24	—	—
可溶性磷酸	18.31	—	—
全 磷 酸	18.87	—	—
尿素態窒素	—	46.21	—
全 窒 素	—	46.25	—
炭 酸 石 灰	—	—	49.73

但 이 數値는 4回 分析 結果의 算術 平均值이고, 磷酸은 molybdc method에 의한 重量法^(7,15,22)에 의하여 定量하였으며, 또 可溶性 磷酸의 量은 水溶性 磷酸의 量과 Petermann⁽²²⁾氏 枸溶性磷酸의 量과의 合計이다. 그리고 全磷酸은 過磷酸石灰 約 2.5 gr을 王水로 分解시킨 후 乾燥濾過紙(5種)로 濾過한 濾液에 對하여 磷酸을 定量하였다. 또 尿素態窒素는 urease 分解에 의한⁽¹⁵⁾, 그리고 全窒素는 濃黃酸分解에 의한⁽¹⁵⁾ 水蒸氣蒸溜法에 의하여 定量하였

다. 또 炭酸石灰는 過간炭酸칼륨에 의한 定量法⁽²²⁾에 의하였고, 水分은 常法^(7,22)에 의하여 定量하였다.

위와 같은 材料를

(1) 磷酸 1石灰+炭酸石灰+尿素

→ 磷酸 2石灰+炭酸+암모니아

(2) 磷酸 1石灰+炭酸石灰+尿素

→ 磷酸 3石灰+炭酸+암모니아

(3) 磷酸 1石灰+炭酸石灰+尿素

→ 磷酸 3石灰+炭酸+炭酸石灰+암모니아

와 같은 式이 成立되도록 配合한 過磷酸石灰, 尿素 및 農用石灰의 量은 各各 다음과 같았다.

(1) 過磷酸石灰 100 gr+農用石灰 24.4 gr+

尿素 49 gr.....A

(2) 過磷酸石灰 100 gr+農用石灰 48.8 gr+

尿素 49 gr.....B

(3) 過磷酸石灰 100 gr+農用石灰 73.2 gr+

尿素 49 gr.....C

여기서 A, B 및 C는 各各 (1), (2) 및 (3)의 配合肥料 種類를 指稱한다.

위와 같은 量을 各各 調製天秤(上皿天秤)에서 달아 混合하고 即時로 그 配合肥料의 水分, 全窒素 및 全磷酸의 量을 測定한 바 各各 다음과 같았다.

肥料種類	水 分	全 窒 素	全 磷 酸
A (%)	6.46	14.50	12.35
B (%)	6.50	13.14	10.91
C (%)	6.56	11.35	9.54

但 이 數値는 4回 分析 結果의 算術 平均值이다. 그리고 全窒素와 全磷酸의 量은 無水物로 換算한 值이다.

위와 같이 配合한 肥料 A, B 및 C를 各各 乾燥器(desiccator)속에 6個月간 室溫에서 貯藏하고, 그 사이에 每月 定期的으로 1回式 合計 7回(但 1회는 配合 當日에 實施함)에 걸쳐서 A, B 및 C를 各各 約 2.5 gr씩 化學天秤으로 正確히 採取하여 尿素態窒素와 水溶性 磷酸 및 可溶性 磷酸의 量을 各各 4回씩 定量하였고, 同 數値(%)를 無水物量으로 換算하였다.

以上の 方法으로 測定한 尿素態窒素, 水溶性磷酸 및 可溶性 磷酸의 無水物量이 時日經過에 따르는 變化 狀態를 要因 分散分析法에 의하여 各各 統計 分析을 하였다.

3. 結果 및 考察

尿素態窒素, 水溶性 磷酸 및 可溶性 磷酸의 時日

經過에 따르는 變化 狀態는 各各 分散分析表 Table 1, Table 2 및 Table 3 과 같았다.

Table 1. Analysis of Variance table for Urea-N

Sources	D.F.	S.S.	M.S.	F.
Kind	2	141.7851	70.89257	2964.97**
Period	6	0.1376	0.02294	0.95
Kind × Period	2 × 6 = 12	0.2335	0.01946	0.81
Replication	3	0.0040	0.00133	0.00
Error	60	1.4346	0.02391	—
Total	83	143.5946	1.7300	—

** Significant at 1% level
Coefficient of variability = 1.2035

Table 2. Analysis of Variance table for water soluble P₂O₅

Sources	D.F.	S.S.	M.S.	F.
Kind	2	287.3019	143.6509	58134.75**
Period	6	204.5266	34.0877	13795.13**
Kind × Period	2 × 6 = 12	12.7378	1.0614	429.57**
Replication	3	0.00018	0.00006	0.01
Error	60	0.1483	0.002471	—
Total	83	504.7148	6.0809	—

** Significant at 1% level
Coefficient of variability = 0.867585

Table 3. Analysis of Variance table for available P₂O₅

Sources	D.F.	S.S.	M.S.	F.
Kind	2	106.2473	53.1236	6874.62**
Period	6	0.0697	0.0116	1.50
Kind × Period	2 × 6 = 12	0.1875	0.0156	2.02
Replication	3	0.0027	0.0009	0.11
Error	60	0.46365	0.0077275	—
Total	83	106.9710	—	—

(1) Available P₂O₅ is the sum of the water soluble and the Petermann's citrate soluble P₂O₅

** Significant at 1% level
Coefficient of variability = 0.8202

Table 1에서 表示된 바와 같이 Kind 즉 A, B 및 C 간에 있어서는 高度의 有意性이 있었다.

따라서 有意性을 나타낸 Kind에 對하여 各 要因

Table 4. Duncan's Multiple Range Test for the Means of Kind

Kind	C	B	A
	11.1835	13.0046	14.3542
	—	—	—

간의 有意差를 알아내기 위하여 Duncan's Multiple Range Test를 實施한 바 Table 4와 같았다. Table에서 同一線에 놓여 있는 平均値는 統計學的으로 有意한 差가 없다는 것을 意味한다.

Table 4에 의하면 A, B 및 C는 統計學的으로 各 各 有意한 差異를 보여 주고 있다. 이 結果는 過磷酸石灰, 農用石灰 및 尿素의 配合 當初의 比率의 差로 보아 當然한 事實이라고 생각되어 진다. 즉 A, B 및 C는 各各 時日 經過에 따르는 窒素의 減少率은 近似하였다.

Period 와 Kind×Period 의 Interaction 은 Kind 의 境遇(Table 1)와는 달리 어느것이나 統計學的으로 有意性을 나타내지 않았다. 이것은 A, B 및 C는

어느것이나 配合의 當初에서 부터 끝까지 窒素量이 大體로 平行을 이루면서 變化되었기 때문이라고 생각된다(Fig. 1).

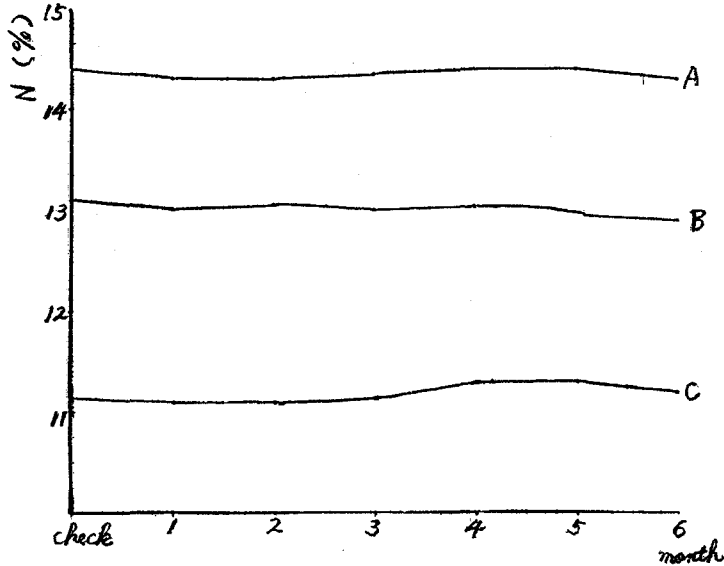


Fig. 1 Interaction between Kinds and periods.

以上 尿素態 窒素에 對한 data 를 綜合하여 보건대 A, B 및 C는 어느 것이나 月別로 즉 時日이 經過함에도 不拘하고 大體로 變化가 없었다는 事實, 다시 말해서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 貯藏 6個月간에 A는 窒素量이 14.41%였던 것이 14.29%로 減少하였고, B는 13.09%였던 것이 12.87%로 減少되었고, 그리고 C에 있어서는 11.16%였던 것이 11.22%로 增加되었다. 結局 窒素量의 減少比率은 配合肥料 B, A 및 C의 順序로 적어졌는데 이것은 過磷酸石灰, 農用石灰 및 尿素를 配合하여도 無關하다는 것을 暗示하여 주는 것이다.

水溶性 磷酸에 있어서는 Table 2에서 表示된 바와 같이 Kind, Period 및 Kind×Period 의 Interaction 에 있어서 各各 高度의 有意性이 있었다.

따라서 有意性을 나타낸 各項目에 對하여 各要因간의 有意差를 알아내기 위하여 Duncan's Multiple

Range Test 를 實施한 바 Table 5, 6, 7 및 8과 같았다.

Table 5. Duncan's Multiple Range Test for the Means of Kind

Kind	C	B	A
	3.4829	5.6936	8.0125
	—	—	—

Table 5에 의하면 A, B 및 C는 統計學的으로 各各 有意한 差異를 보여 주고 있다. 이 結果는 過磷酸石灰와 農用石灰 및 尿素와의 配合 當初의 比率 差로 보아 當然한 事實이라고 생각되어진다. 즉 A, B 및 C는 各各 時日 經過에 따르는 磷酸의 減少率은 近似하였다.

Table 6. Duncan's Multiple Range Test for the Means of Period

month	6	5	4	3	2	1	check
	4.6358	4.7708	4.8458	4.9850	5.3042	6.2050	9.3608
	—	—	—	—	—	—	—

Table 6에 의하면 全體적으로 水溶性磷酸의 量은 月別로 측 時日의 經過에 따라서 有意差가 높은 減少를 보여 주고 있다. 여기서 特記할 만한 것은 配合肥料을 6個月間 貯藏하는 사이에 減少된 全體 減少量의 約 67%가 貯藏 1個月 사이에, 그리고 約 86%가 貯藏 2個月 사이에, 또 約 93%가 貯藏 3個月 사이에 減少되었다는 事實인데, 이 事實은 配合肥料 中の 水溶性 磷酸과 炭酸石灰가 1個月~3個月 사이에 急速히 그리고 그 以後부터는 緩慢하게

化學反應이 連續적으로 일어나서 水溶性이 아닌 梅溶性 또는 不溶性의 磷酸形態로 되었다기 때문에 일어난 것이 아닌가 생각된다.

Kind×Period의 Interaction도 높은 有意性을 나타냈었기 때문에 (Table 2) 肥料 種類別 각 時日 經過에 따르는 磷酸의 變化 狀態를 우선 檢討하고 (Table 7), 다음 이와 反對로 各 時日 經過別 各 肥料 種類에 따르는 磷酸의 變化 狀態를 檢討하였다 (Table 8).

Table 7. Duncan's Multiple Range Test for the Means of Month over all Kinds

Period Kind	6	5	4	3	2	1	check
A	7.125	7.23	7.3325	7.5175	7.6275	8.755	10.50
B	4.685	4.80	4.8875	4.935	5.3275	5.8525	9.3675
C	2.0975	2.2825	2.3175	2.5025	2.9575	4.0075	8.215

Table 7에 의하면 B는 貯藏 후 3個月과 4個月 사이에, 4個月과 5個月 사이에, 또 C는 貯藏 후 4個月과 5個月 사이에는 有意한 減少가 없었다. 그러나 水溶性磷酸은 全體적으로 月別로 측 時日 經過에 따라서 有意差가 높은 減少를 보여 주었다고 할 수 있다. 즉 A, B 및 C를 6個月間 貯藏하는 동안에 減少된 全體 減少量에 對하여 A, B 및 C는 各各 52%, 75% 및 69%가 貯藏 1個月 사이에, 또 85%, 86% 및 85%가 貯藏 2個月 사이에, 그리고 88%, 95% 및 93%가 貯藏 3個月 사이에 減少되었는데, 이 事實도 亦是 時期에 對하여 Duncan's Multiple Range Test를 實施한 Table 6의 境遇와 마찬가지로 配合肥料 中の 水溶性 磷酸과 炭酸石灰가 貯藏 후 1個月~2, 3個月 사이에 急速히, 2, 3個月 經過후에는 緩慢한 反應이 連續적으로 일어나서 水溶性이 아닌 形態의 磷酸으로 되었다기 때문에 招來된 것이라고 생각된다.

Table 8. Duncan's Multiple Range Test for the Means of Kinds over all Month

Kind Month	C	B	A
check	8.215	9.3675	10.50
1	4.0075	5.8525	8.755
2	2.9575	5.3275	7.6275
3	2.5025	4.935	7.5175

Table 8. 계속

Kind \ Month	C	B	A
4	2.3175	4.8875	7.3325
5	2.2825	4.80	7.23
6	2.0975	4.685	7.125

Table 8이 表示하는 바와 같이 A, B 및 C는 各 配合時와 同一하게 높은 有意差를 統計學的으로 持續하면서 大體로 磷酸量이 減少된 傾向을 보이고 있다.

以上 水溶性 磷酸에 對한 data를 綜合하여 보진 때, A, B 및 C는 어느것이나 月別로 즉 時日經過에 따라서 磷酸量이 減少되었다. 즉 A는 10.50% 였던 것이 7.12%로, B는 9.36%였던 것이 4.68%로 그리고 C에 있어서는 8.21%였던 것이 2.09%로 各各 減少되었다. 結局 磷酸의 減少比率은 A, B 및 C의 順序로 많아진 事實로 미루어 보아 過磷酸 石灰와 農用石灰 및 尿素肥料을 配合하는 것은 利로운 것 같지는 않다고 믿어지는 바이다(Table 6, 7, 8 Fig. 2).

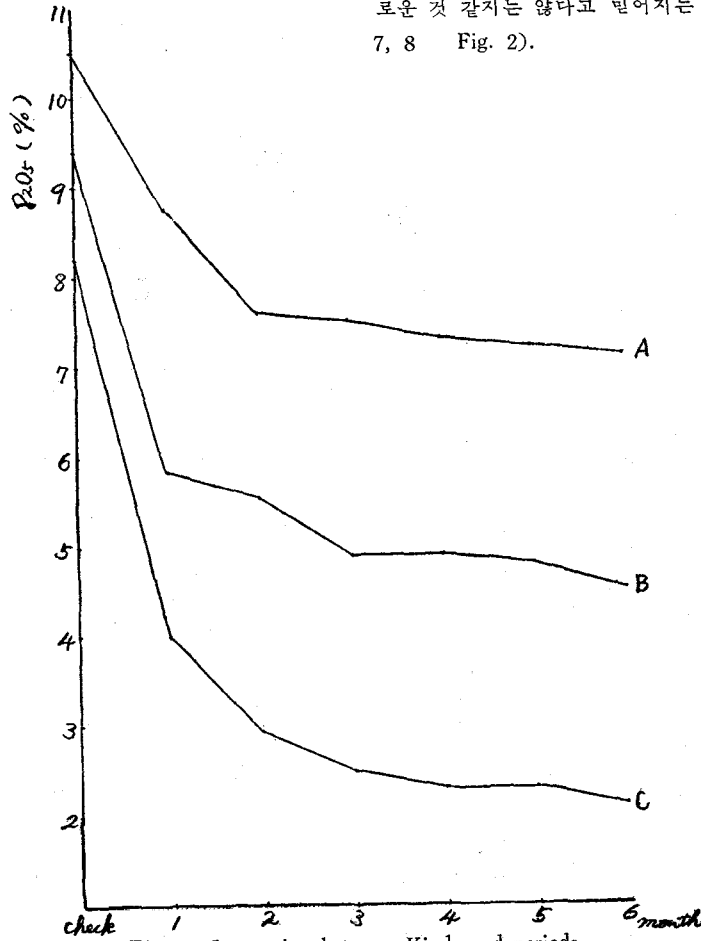


Fig. 2. Interaction between Kinds and periods

可溶性 磷酸에 있어서는 Table 3이 表示하는 바와 같이 Kind에서 高度의 有意性이 있었다.

따라서 높은 有意性을 나타낸 Kind에 對하여 要因간의 有意差를 알기 위하여 Duncan's Multiple Range Test를 實施한 바 Table 9와 같았다.

Table 9. Duncan's Multiple Range Test for the Means of Kind

Kind	C	B	A
	9.3242	10.7489	12.0785

Table 9에 의하면 A, B 및 C는 統計學的으로各各 有意한 差異를 보여주고 있다. 이 結果는 尿素態 窒素 및 水溶性 磷酸의 境遇(Table 4 및 5)와 마찬가지로 過磷酸石灰와 尿素 및 農用石灰와의 配合當初의 比率差로 보아 當然한 事實이라고 생각된다 즉 貯藏 時日이 經過됨에 따라 A, B 및 C는 近似한 格差로서 各各 減少되었다.

Period 및 Kind×Period의 Interaction은 尿素의 境遇(Table 1)와는 똑같이, 또 水溶性 磷酸의 境遇(Table 2)와는 달리 어느것이나 有意성을 나타내지 않았다(Table 3). 이것은 A, B 및 C는 어느것이나 配合 當初에서 부터 끝까지 磷酸量이 大體로 平行을 이루면서 變化하였기 때문이라고 생각된다(Fig. 3).

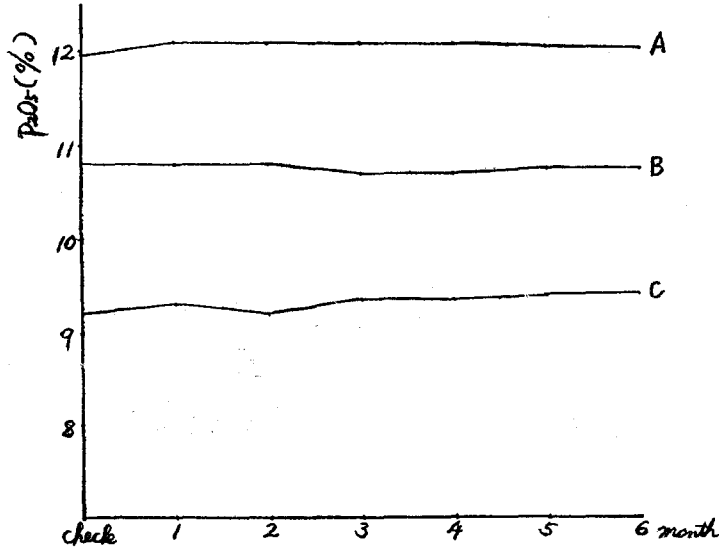


Fig 3. Interaction between Kinds and Periods

以上 可溶性 磷酸에 對한 data를 綜合的으로 보진대 A, B 및 C는 어느것이나 月別로 즉 時日經過에 따라서 大體로 變化가 없었다는 事實, 다시 말하면 Fig. 3에서 보는 바와 같이 貯藏 6個月간에 A는 磷酸量이 11.97%였던 것이 12.05%로 增加하였고, B는 10.76%였던 것이 10.74%로 減少되었고, 그리고 C에 있어서 9.20%였던 것이 9.39%로 增加되었다. 結局 磷酸의 減少比率는 C, A 및 B의 順序로 적어졌는데, 이것은 過磷酸石灰와 尿素 및 農用石灰를 配合하여도 無關하다는 것을 暗示하여 주는 것이다.

4. 結 論

國內에서 年間 17萬噸이나 生産되는 尿素肥料를 過磷酸石灰 및 農用石灰와 配合하였을 境遇에 尿素態 窒素와 有效性 磷酸이 如何히 變化하는가에 對하여 調査하는 것도 이들 肥料의 合理的 施用方法의 하나로 될 수 있다고 생각된다는 意味에서 日本産 過磷酸石灰와 尿素 및 國産肥料인 農用石灰를 3階段으로 配合하여 6個月간 그대로 室溫에서 貯藏하

는 동안에 있어서의 尿素態 窒素, 水溶性 磷酸 및 可溶性 磷酸의 變化 狀能에 對하여 調査하였다.

그 結果를 要約하면 다음과 같았다.

(1) A, B 및 C는 어느것이나 尿素態 窒素는 時日經過에 따라서 大體로 變動이 없었다. 이 事實로 미루어 볼 때에는 過磷酸石灰, 尿素 및 農用石灰를 配合하여도 無關하다는 것을 暗示하여 준다.

(2) A, B 및 C는 어느것이나 水溶性 磷酸은 時日의 經過에 따라서 減少하였다. 이 事實로 미루어 보아 過性磷酸石灰와 尿素 및 農用石灰를 配合하는 것은 利로운 것 같지는 않다.

(3) A, B 및 C는 어느것이나 可溶性 磷酸은 時日經過에 따라서 大體로 變動이 없었다. 이 事實로 미루어 보아 過磷酸石灰, 尿素 및 農用石灰를 配合하여도 無關하다는 것을 暗示하여 준다.

5. 引用 文 獻

- 1) Albrecht, Wm. A. and Smith, N.C.: Saturation Degree of Soil and Nutrient Delivery to the Crop, Jour. Amer. Soc. Agron., 32, 148~153,

- (1940)
- 2) Albrecht, Wm. A. and Klemme, A. W.: Limestone mobilizes phosphates into Korean lespedeza, Jour. Amer. Soc. Agron., 31, 284~286, (1939)
 - 3) 麻生慶次郎:「土壤と肥料」, 日本評論社, 189, (1933)
 - 4) 조백현:「토양비료」, 수도문화사, 79, (1961)
 - 5) Collings, G.H.: Comercial Fertilizers, McGraw-Hill Book Company, Inc., 100, 219~220, (1955)
 - 6) Conner, S.D.: The Availability of Phosphates, Amer. Fertilizer, 72, 8, (1930)
 - 7) 京都大學六成會:「農藝化學實驗書」(第1卷), 219~292, (1958)
 - 8) Macintire, W.H. and Shuey, G.A.: Chemical Changes in Mixtures of Superphosphate with Dolomite and Limestone: Industrial and Eng. Chem., 24, 8, (1932)
 - 9) 松木五樓:「土壤肥料綜典」, 朝倉書店, 208, 325, (1958)
 - 10) 孟道源·李鳳熙共著:「最新肥料學概論」, 受験社, 382, 389, 396, (1963).
 - 11) 孟道源: 過磷酸石灰와 農用石灰의 配合에 의한 有效性 磷酸의 變化, 高麗大學校 60周年紀念論化集, (自然科學篇), 335~360, (1965)
 - 12) 孟道源: 過磷酸石灰와 尿素의 配合에 의한 尿素能窒素 및 有效性 磷酸의 變化에 관한 研究」, 未發表.
 - 13) 三須英雄:「肥料學」, 朝倉書店, 269, (1942)
 - 14) Mooers, C.A.: New Fertilizers on the Market for 1928, Suggestions for Their Use, Tenn. Agr. Exp. Sta. Circ., 18, (1928)
 - 15) 中村輝雄監修: 詳解肥料分析法, 養賢堂, 50~52, 62~77, (1962)
 - 16) 奥田東:「肥料學概論」, 養賢堂, 269, (1961)
 - 17) 太田道雄:「肥料の配合」, 農業及園藝 25, 67, (1950)
 - 18) 鹽谷正邦·井口長光, 「肥料の配合法」, 農業及園藝, 29, 1019, 29, 1155, 29, 1294, (1954.)
 - 19) 鹽谷正邦, 「化成肥料の種類・品質及使い方」 農業及園藝, 27, 54, (1952)
 - 20) 鹽谷正邦, 「新肥料の使ひ方」, 富民協會刊, 100~102, (1960)
 - 21) 高橋達郎, 「タバコ栽培用 尿素化成肥料の性質と 施用法」, 農業及園藝, 28, 1201, (1953)
 - 22) 東京大學農藝化學教室, 「實驗農藝化學」上卷, 74~75, 81~82, (1954)
 - 23) 青木茂一, 「農業上に於ける石灰の重要性(1, 2, 3)」, 農業及園藝, 26, 729, 26, 832, 26, 945, (1951)
 - 24) 麻生慶次郎:「植物營養と肥料」, 137, (1948)
 - 25) Ivan E. Miles: Soil Sci., 97, (1948)
 - 26) Smith G.E. and Hester J.B., : Soil Sci., 117, (1948)
 - 27) 青木茂一, 「土壤と植生」, 養賢堂, 484~522, (1951)